



*Institut de Recherches Agronomiques Tropicales  
et des cultures vivrières*

*Département du Centre de Coopération Internationale  
en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD)*

**METHODES D'ANALYSE ET DE CARACTERISATION  
HYDRODYNAMIQUE DES SOLS UTILISEES POUR LES ETUDES  
AGROPEDOLOGIQUES A OUENAROU, MARE ET POUEMBOUT  
NOUVELLE CALEDONIE**

**M. BROUWERS, M. FORTIER**  
Laboratoire d'Etudes  
Agronomiques IRAT/DRN  
Lagephy n° 48  
Février 1991.

**METHODES D'ANALYSE ET DE CARACTERISATION  
HYDRODYNAMIQUE DES SOLS UTILISEES POUR LES ETUDES  
AGROPEDOLOGIQUES A OUNAROU, MARE ET POUEMBOUT  
NOUVELLE CALEDONIE**

M. BROUWERS, M. FORTIER  
Laboratoire d'Etudes  
Agronomiques IRAT/DRN  
Lagephy n° 48  
Février 1991.

## SOMMAIRE

	Page
1. METHODES D'ANALYSE ET DE CARACTERISATION HYDRODYNAMIQUES DES SOLS	3
1.1. Déterminations réalisées par le laboratoire des sols du CIRAD	3
1.2. Déterminations réalisées par le laboratoire de Physique et Mécanique des sols de l'IRAT (M. FORTIER)	4
1.3. Déterminations réalisées in situ	4
2. OBSERVATIONS SUR LES METHODES	4
2.1. Réserve en eau utile	4
2.2. Densité réelle	5
2.3. Granulométrie	5
2.4. Capacité d'échange et bases échangeables	6
BIBLIOGRAPHIE	15

## 1. METHODES D'ANALYSE ET DE CARACTERISATION HYDRODYNAMIQUE DES SOLS.

### 1.1. Déterminations réalisées par le laboratoire des sols du CIRAD

(d'après les données communiquées par M. SZWARC).

Toutes les analyses sont faites sur de la terre préalablement séchée à l'air, forcée à travers un tamis de 2 mm. Les résultats sont exprimés par rapport à la terre séchée à l'air.

#### 1.1.1. Analyses sur terre tamisée à 2 mm, trous ronds.

. **Humidités de rétention** : par méthode pneumatique sur prise d'environ 10 g; plaque céramique pour pF 2.0, 2.5 et 3.0, plaque à membrane pour pF 4.2

. **Densité réelle** : à l'eau, en fiole jaugé de 50 ml sur prise de 25 g avec ébullition pendant 15 minutes sur plaque chauffante pour éliminer l'air.

. **Granulométrie** : sur prise de 10 g; la somme des 5 fractions étant ajustée à 100 %.

- Méthode classique : destruction de la matière organique à l'eau oxygénée sur bain-marie; dispersion à l'hexamétaphosphate de sodium; agitation pneumatique; dosage A et A+L par prélèvement automatique à la pipette Robinson; tamisage des sables et des limons grossiers.

- Méthode avec ultrasons : cf méthode classique, excepté qu'entre la dispersion et l'agitation pneumatique l'échantillon est soumis à un traitement ultrasonique pendant dix minutes.

. **Complexe absorbant** ; mesure effectuée systématiquement selon deux méthodes :

- à l'acétate d'ammonium -  $\text{Ac NH}_4$  ; sur prise de 10 g.

1°) déplacement des bases à l'acétate d'ammonium 1N(pH 7), puis dosage des bases par ICP (émission par plasma d'argon);

2°) lavage à l'alcool éthylique pour éliminer l'excès d'acétate;

3°) déplacement du  $\text{NH}_4$  fixé par une solution Na Cl légèrement acide, puis dosage  $\text{NH}_4$  par colorimétrie ce qui permet de calculer la CEC du sol à pH 7.

- au chlorure de cobaltihexammine -  $(\text{Co}(\text{NH}_3)_6)\text{Cl}_3$  ; sur prise de 3.5 g.

1°) extraction des bases au chlorure de cobaltihexammine suivie de dosage des bases par ICP sur extrait;

2°) dosage du cobalt restant dans la solution, la différence de concentration avec la solution de départ permettant de calculer la CEC;

3°) mesure du pH de l'extrait, donnant par calcul la concentration  $[\text{H}^+]$  du complexe absorbant.

. **pH** : sur prise de 20 g, mesure au pH mètre sur suspension de rapport solution de sol dans l'eau distillée de 1/2,5, avec eau (pH eau) et solution de KCl-N (pH-KCl).

#### 1.1.2. Analyses sur terre rebroyée au mortier à environ 100 $\mu\text{m}$ .

. **Carbone organique** : par combustion en LECO CHN 600 sur prise d'environ 200 mg; matière organique;  $1,72 \times \text{C} \%$ .

. **Azote total** : par combustion en LECO FP 428 sur prise d'environ 200 mg.

. **P total** : par attaque acide perchlorique 60 %, dosage par colorimétrie au bleu de molybdène, sur prise de 1 g.

. **P assimilable** : selon OLSEN modifié DABIN ( extraction au  $\text{FNH}_4 + \text{Na HCO}_3$  à pH 8,5, dosage par colorimétrie au bleu de molybdène) sur prise de 1 g.

. **Eléments totaux** : attaque fluoroperchlorique d'une prise de 200 mg, dosage des bases par ICP et des métaux par absorption atomique électrothermique.

### **1.2. Déterminations réalisées par le laboratoire de Physique et Mécanique des Sols de l'IRAT (M. FORTIER).**

. **Densité réelle** : à l'eau, en fiole jaugé de 100 ml, sur prise d'environ 50 g, broyée au mortier et séchée à l'étuve; élimination de l'air par pompe à vide pendant 8 h au moins.

. **Densité apparente** : déduite de la mesure du poids de la terre séchée à 105°C d'un prélèvement de sol non remanié fait au cylindre de volume connu.

. **Humidité de rétention** : sur prélèvement réalisé au cylindre (100 ou 135 cm<sup>3</sup>) conservé au mieux à l'humidité de prélèvement (pas de retrait).

pF 1.0, 1.5 et 2 : méthode par succion (bac à sable)

pF 2.5, 3.0 : méthode pneumatique à plaque céramique

saturation progressive totale avant première mesure (pF 1.0); temps d'équilibre passant de 2 j. pour le premier pF à une semaine pour les deux derniers; réhumectation de la base des cylindres entre chaque pF.

. **Conductivité hydraulique** : mesure effectuée sur prélèvement cylindre après établissement de la courbe de rétention, sous charge hydraulique constante d'environ 2 cm; la moyenne de plusieurs mesures s'étendant sur une journée est retenue.

. **Porosité totale** : déduite des mesures de densité réelle et de densité apparente.

. **Taux d'air** : déduite de  $D_a$ ,  $D_r$  et de la mesure d'humidité.

### **1.3. Déterminations réalisées in situ.**

. **Infiltrabilité** : par méthode à double anneau à charge décroissante aussi appelée "Muntz simplifié", à rayon de 20 cm pour l'anneau central et de 35 cm pour l'anneau de garde, les deux enfoncés de 5 à 10 cm verticalement après préhumectation de l'horizon superficiel du site.

. **Cinétique de ressuyage** : (aussi appelé évolution du profil hydrique après apport d'eau, une mesure destinée surtout à connaître la capacité au champ) : par mesure de l'humidité pondérale du sol du site ayant servi à la détermination de l'infiltrabilité, depuis la disparition de la lame d'eau apportée jusqu'à 3-4 jours après, en protégeant au mieux le site contre l'évapotranspiration pendant le suivi hydrique au moyen de sacs de fibres plastiques tissées.

Les mesures d'humidité portent sur la partie du sol se trouvant à la base des deux joues de la tarière Edelman utilisée pour faire les prélèvements. Pour chaque couple "profondeur-temps depuis disparition de la lame d'eau" il y a eu un seul prélèvement.

## **2. OBSERVATIONS SUR LES METHODES.**

### **2.1. Réserve en eau utile.**

Elle est la différence d'humidité volumique entre la capacité au champ et le point de flétrissement permanent. Par convention, le point de flétrissement est l'humidité mesurée p pF 4,2 (soit une pression de 16 bar ou 1,6 M Pa); elle est fonction de la composition du matériau.

En Nouvelle Calédonie, la capacité au champ des sols a toujours été prise par référence au "pF 3 vrac", soit l'humidité obtenue à une pression de 1 bar (10 k Pa) sur terre séchée, broyée, tamisée à 2 mm.

D'après les résultats de l'étude de ressuyage conduite sur un sol représentatif des Iles et sur un sol des plaines de l'Ouest et le profil hydrique observé dans un sol de Ouénarou dans le Sud, cette référence n'est pas appropriée, comme le montre le tableau 1.

Pour les sols ferralitiques allitiques, elle conduit à sous-estimer de façon importante la réserve hydrique de même que pour les sols ferralitiques ferritiques. Quant au solonetz solodisé argileux de Pouembout, nos résultats tendent à montrer que la référence pF 3 vrac amène à sous-estimer la réserve hydrique de l'horizon superficiel et à surestimer celle du matériau argileux sous-jacent.

La technique de laboratoire mise en oeuvre jusqu'à présent pour estimer la capacité au champ des sols de Nouvelle Calédonie n'est pas une procédure à retenir comme nous l'avons déjà montré pour les sols de la Réunion, du Zaïre, du Burkina-Faso, du Congo et du Sénégal. Parce que la mesure est réalisée sur de la terre passée au tamis de 2 mm, elle ne permet en effet pas de connaître l'espace poral du sol qui effectivement fonctionne comme réservoir hydrique pour les cultures.

Sur ce même tableau, on a figuré également les valeurs de réserve hydrique déduites des mesures de rétention effectuées sur des prélèvements faits au cylindre. De telles mesures ne présentent pas l'inconvénient des mesures précédentes. La plupart des laboratoires ayant recours à ce type de prélèvement utilisent comme référence pour la capacité au champ le pF 1,8, certains les pF 2.

Les résultats obtenus tendent à montrer que le pF à retenir est fonction de la conductivité hydraulique aux faibles suctions :

- pF 2,25 voire 2,5 pour les matériaux très filtrants à forte baisse d'humidité entre pF 1 et 2,5
- pF 1,8 pour ceux à conductivité faible ou réduite.

Ils tendent aussi à montrer qu'en des sols gonflants tel que Pou 2 à partir de 15 cm, tout pF compris entre 1 et 2,5 peut être pris comme référence, l'humidité du sol variant très peu dans cette gamme de suctions.

## **2.2. Densité réelle.**

Les données de porosité totale (Nt) présentées dans les rapports de Ouénarou, Maré et Pouembout s'appuient sur les mesures de densité réelle effectuées par notre laboratoire.

Si la technique de mesure utilisée en routine permet de caractériser les sols, elle ne permet pas de connaître en effet leur porosité avec la précision requise pour des études de physique du sol comme le montre le tableau 2.

La différence observée pour Dr est de 0,12 à 0,20 points. Elle est à attribuer au dégazage imparfait de la prise d'essai et surtout à la non prise en compte de l'humidité résiduelle de la terre séchée à l'air dans l'analyse de routine.

## **2.3. Granulométrie.**

Sur Lac-1, les quatre profils prélevés à Maré et sur certains prélèvements faits à Pouembout, elle a été déterminée à la fois avec et sans prétraitement ultrasonique.

Sur Lac-1, le prétraitement ultrasonique augmente d'un facteur 3 à 4 (cf tableau 3) la teneur en particules de taille inférieure à 2  $\mu$ m au dépend essentiellement des sables fins (ils passent d'environ 26 % à 17 % pour les trois premiers niveaux). Cette augmentation est due à la plus grande

énergie employée dans cette méthode pour séparer les particules élémentaires. Le sol étant essentiellement composé de sesquioxides de fer, le prétraitement ultrasonique a disloqué les agrégats bien plus efficacement que le seul traitement à l'hexamitaphosphate de sodium.

Sur les sols de Maré, le traitement ultrasonique a une action similaire : il augmente fortement le taux en argile (de 22 à 45 %), voire, en profondeur, à la fois celui en argile et en limon fin. Cependant, à la différence de Lac-1, l'augmentation en particules fines se fait en général au dépend de **toutes** les autres fractions.

Les sols de Pouembout étant pauvres en amorphes et n'ayant pas de pseudosables, les deux méthodes donnent au contraire, en tout logique, des résultats semblables. Néanmoins, l'agitation ultrasonique est à préférer pour connaître le taux d'argile granulométrique des matériaux argileux, celui-ci ayant tendance d'être plus élevé avec ce prétraitement, sans que cela affecte la somme de A + Lf, la dispersion étant de meilleure qualité.

Les résultats d'argile et de limon fin présentés dans nos rapports ont été déduits de mesures basées sur la loi de STOKES, en supposant que la densité réelle de ces fractions soit égale à 2,65. Cette valeur de 2,65 est communément utilisée comme référence car elle correspond à la densité réelle de la fraction minérale de la plupart des sols.

Or pour Lac-1, sa valeur est bien supérieure à 3 et à Maré elle serait de 2,85. Il s'ensuit qu'on a en fait sous-évalué pour ces sols la fraction argileuse et celle en limon fin comme le montre le tableau 4 qui indique les limites effectivement retenues.

Les fractions sableuses étant déterminées par tamisage, il s'ensuit également que la fraction limon grossier a été surévaluée pour ces sols.

#### **2.4. Capacité d'échange cationique et bases échangeables**

Le complexe absorbant des sols de Nouvelle Calédonie a toujours été apprécié à partir de la méthode à l'acétate d'Ammonium à pH7 (désignée ci-après par AC), établie par CHAPMAN (1965), couramment utilisée en analyses de routine (FALLAVIER et al. 1985) et employée par les laboratoires du CREA et de l'ORSTOM.

Suite aux travaux d'OLIVER (1984) et FALLAVIER et al (1985), nous avons opté pour l'emploi de la méthode au chlorure de cobaltihexammine (désignée Co), établie par ORSINI et REMY (1976) qui donnerait théoriquement des résultats plus proches des conditions réelles d'échange au niveau du système sol-plante (OLIVER, 1985).

L'extraction à l'acétate d'ammonium fait appel à un réactif très concentré, tamponné à pH7, donc "propice à la création de charges de surface artificielles" (OLIVER, 1985) lorsque le pH du sol est inférieur à 7. D'après FALLAVIER et al (1985), la densité de charges négatives ainsi créées croît fortement à partir de pH 5 et cela d'autant plus vite que le taux de matière organique est élevé. En outre, pour des sols carbonatés, cette méthode surestime le taux en Ca et Mg échangeables, du fait de la solubilité de ces carbonates dans l'acétate tamponné.

La méthode au chlorure de cobaltihexammine utilise un réactif de faible concentration et ne présente pas les Inconvénients de la méthode à l'acétate d'ammonium lors d'une approche agronomique de la fertilité des sols.

Afin de faciliter la comparaison avec des résultats antérieurs, le complexe absorbant a été déterminé systématiquement selon les deux méthodes.

Seuls les résultats obtenus par la méthode au chlorure de cobaltihexammine ont été pris en compte pour la présentation des caractéristiques des sols dans les rapports de MARE, OUENAROU et POUEMBOUT.

Sur la base des observations des auteurs précédemment cités, nous avons comparé les deux méthodes sur les secteurs de MARE et POUEMBOUT, de matériau et pédogenèse différents, mais pour lesquels le nombre d'individus est suffisant pour se prêter à une analyse statistique.

Le tableau ci-dessous résume le tableau (5) des relations linéaires établies entre les deux méthodes sous la forme :

$$(Co) = a (Ac) + cste$$

	CEC	Ca	Mg	K	Na	Somme
POUEMBOUT	0.996	0.867	1.075	0.559	0.912	0.988
MARE	1.080	0.770	0.813	0.624	0.707	0.783
Ensemble	1.020	0.763	1.082	0.619	0.928	0.850
FALLAVIER et al (1985)	0.059 <sup>1</sup>	1.056	0.953	0.548	0.958	1.040

Coefficients de régression des équations linéaires.

Il apparaît que dans notre cas, les deux méthodes fournissent une capacité d'échange pratiquement identique ce qui n'était pas le cas pour les sols étudiés par FALLAVIER et al (1985).

Pour les cations, l'interprétation est plus complexe car la réponse est différente selon les secteurs, celui de MARE présentant globalement une extraction plus importante par l'acétate d'ammonium, vraisemblablement due aux fortes valeurs de la matière organique.

On retrouve la même influence du chlorure de cobaltihexammine sur la faible extraction du potassium dont l'explication serait due d'après FALLAVIER et al (1985) à la taille de l'ion cobaltihexammine qui ne lui permettrait pas d'accéder à tous les sites d'échanges. Une étude plus approfondie du complexe absorbant sera entreprise afin de déterminer les facteurs chimiques explicatifs des variations relatives observées.

---

<sup>1</sup> Il n'y a pas de réelle corrélation, le coefficient est donné à titre indicatif pour justifier la différence des moyennes AC = 13.96, Co = 2.53



Tableau 1 : Réserve en eau utile selon différentes méthodes  
d'estimation de la capacité au champ (mm/m)

Référence CC profil-prof.	pF 3 vrac	cyn. ress. (1)	prof. hydr. (2)	pF 1,8 cyl.	pF 2,0 cyl.	pF 2,25 cyl. (3)	pF vrac correspondant à CC (5)
TAW 1 0-10	41	125		186	158	136	< 2
15-30	56	137		280	194	147	< 2
50-60	48	176		283	223	179	< 2
Pou 2 0-10	160	173+20		200	190	182	2,7
15-25	113		143*	88/84(4)	86/82	83/79	3,5
50-80	139		87*	112/102	108/98	108/98	3,5
Lac 1 0-5	92						
10-20	72		103**	162	143	119	
50-80	59		134**	188	178	172	
110-170	96		400*				

(1) CC déterminée à partir de la cinétique de ressuyage

(2) d'après humidité lors de l'étude du profil (Lac 1) ou après apport d'eau (Pou 2)

(3) d'après moyenne arithmétique des résultats obtenus pour pF 2 et 2,5

(4) en tenant compte du gonflement (cf. rapport Pouembout, BROUWERS, 1991)

(5) par rapport à l'humidité retenue comme CC (réserve en caractères gras)

\* sol humide

\*\* sol frais

Tableau 2 : Caractéristiques de l'espace poral mesurées sur prélèvements  
faits au cylindre et densité réelle mesurée selon deux procédures différentes

Référence sol		Densité réelle	Da	Nt %	Hv 1,0 %	Hv 1,8 %	Hv 2,5 %	Ks (cm/h)
					Moyenne de 3 répétitions			
Lac 1 (50-80)	(1)	3,49	1,59	54,44	55,23	54,91	52,12	159,0
	(2)	3,67		56,75				
Pou 2 (50-80)	(1)	2,46	1,58	35,77	40,85	40,50	40,19	0,0
	(2)	2,66		40,64				

(1) analyse de routine, moyenne de 3 répétitions

(2) analyse de recherche

Tableau 3 : Taux en argile et en argile + limon fin  
d'après granulométrie sans et avec prétraitement ultrasonique

Références sol	Sans ultrasons		Avec ultrasons	
	A %	A + Lf %	A %	A + Lf %
LAC 1-1	3,2	14,2	10,1	22,5
2	5,2	13,0	16,4	28,5
3	5,5	12,2	12,3	14,6
4	0,6	7,0	4,8	11,8
TAO 1-1	35,3	72,2	59,3	87,7
2	24,4	65,0	46,9	85,3
3	5,9	20,4	28,6	50,0
TAO 2-1	28,9	67,7	58,4	83,9
2	14,0	53,7	58,6	81,2
3	8,9	24,4	37,4	61,7
TAW 1-1	22,9	61,3	49,2	69,0
2	11,9	42,3	44,8	63,4
3	3,0	36,8	27,3	56,4
TAW 2-1	15,7	47,0	42,9	72,2
2	7,0	47,7	47,0	72,8
3	6,5	46,3	29,0	66,9
Pou 2-1	20,8	60,4	19,3	62,1
2	44,7	72,3	39,6	70,0
3	38,2	64,9	41,4	72,8
4	42,5	76,4	50,0	77,2
Pou 9-1	12,2	35,2	10,0	31,3
2	7,9	31,5	6,5	31,3
3	58,6	69,9	64,9	75,4
Pou 18-1	39,2	73,7	50,2	63,3
Pore 21-1	21,1	49,1	20,0	49,5

Tableau 4 : Effet de la prise en compte de la densité réelle sur la limite supérieure de la fraction argileuse et celle de limon fin en effectuant leur dosage avec  $D_r = 2,65$  (en  $\mu\text{m}$ )

Dr effective	2,65	2,85	3,65
Limite supérieure effective			
"argile"	2	1,9	1,6
"limon fin"	20	19	16

---

données arrondies pour une hauteur de chute de 10 cm à 20°C

Tableau 5 : Relations linéaires (Co) = a (Ac) + cste

- Calcium

Pou	$\text{Ca (Co)} = 0.867 \text{ Ca (Ac)} + 0.408$	$r^2 = 0.957$	$s = 0.95$	$n = 25$
Mare	$\text{Ca (Co)} = 0.770 \text{ Ca (Ac)} + 0.088$	$r^2 = 0.988$	$s = 1.16$	$n = 12$
Ensemble	$\text{Ca (Co)} = 0.763 \text{ Ca (Ac)} + 0.708$	$r^2 = 0.98$	$s = 1.14$	$n = 37$

- Magnésium

Pou	$\text{Mg (Co)} = 1.075 \text{ Mg (Ac)} - 0.134$	$r^2 = 0.955$	$s = 1.95$	$n = 25$
Mare	$\text{Mg (Co)} = 0.813 \text{ Mg (Ac)} + 0.160$	$r^2 = 0.967$	$s = 0.78$	$n = 12$
Ensemble	$\text{Mg (Co)} = 1.082 \text{ Mg (Ac)} - 0.788$	$r^2 = 0.949$	$s = 1.98$	$n = 37$

- Potassium

Pou	$\text{K (Co)} = 0.559 \text{ K (Ac)} + 0.0001$	$r^2 = 0.900$	$s = 0.025$	$n = 25$
Mare	$\text{K (Co)} = 0.624 \text{ K (Ac)} + 0.023$	$r^2 = 0.910$	$s = 0.05$	$n = 12$
Ensemble	$\text{K (Co)} = 0.619 \text{ K (Ac)} + 0.0006$	$r^2 = 0.900$	$s = 0.039$	$n = 37$

- Sodium

Pou	$\text{Na (Co)} = 0.912 \text{ Na (Ac)} + 0.188$	$r^2 = 0.947$	$s = 0.065$	$n = 25$
Mare	$\text{Na (Co)} = 0.707 \text{ Na (Ac)} + 0.045$	$r^2 = 0.775$	$s = 0.05$	$n = 12$
Ensemble	$\text{Na (Co)} = 0.928 \text{ Na (Ac)} + 0.096$	$r^2 = 0.959$	$s = 0.53$	$n = 37$

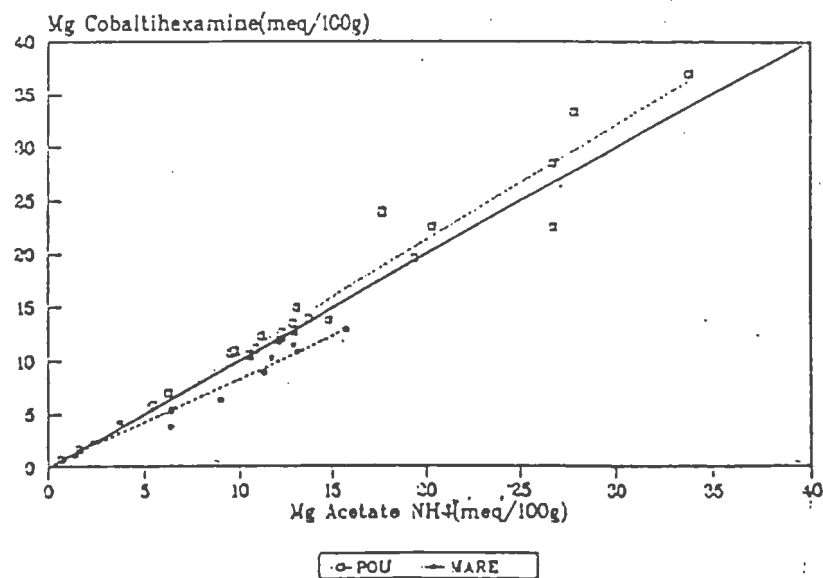
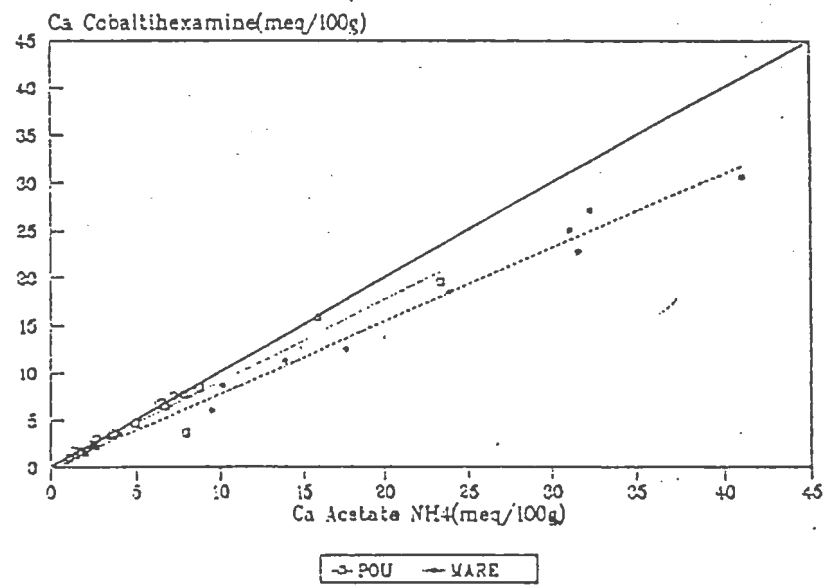
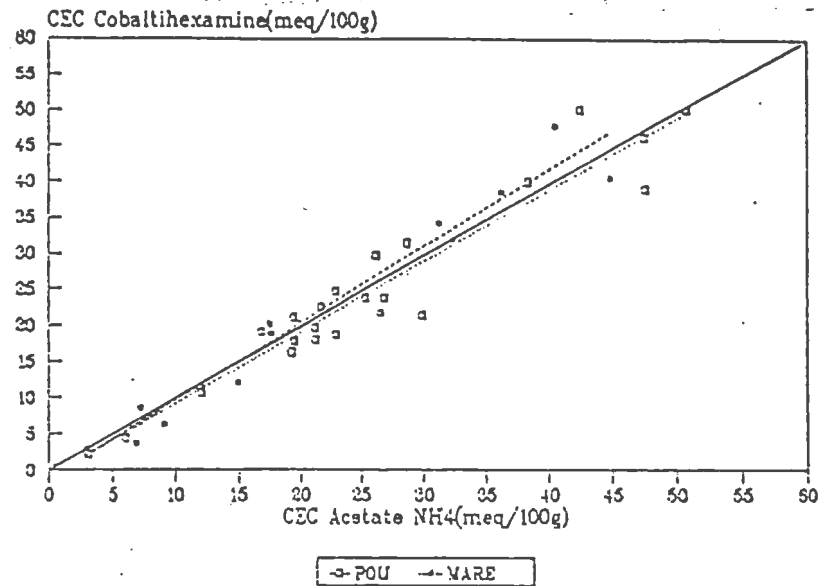
- Somme des cations

Pou	$\text{S (Co)} = 0.988 \text{ S (Ac)} + 0.744$	$r^2 = 0.950$	$s = 2.70$	$n = 25$
Mare	$\text{S (Co)} = 0.783 \text{ S (Ac)} + 0.270$	$r^2 = 0.985$	$s = 1.85$	$n = 12$
Ensemble	$\text{S (Co)} = 0.850 \text{ S (Ac)} + 2.072$	$r^2 = 0.910$	$s = 3.80$	$n = 37$

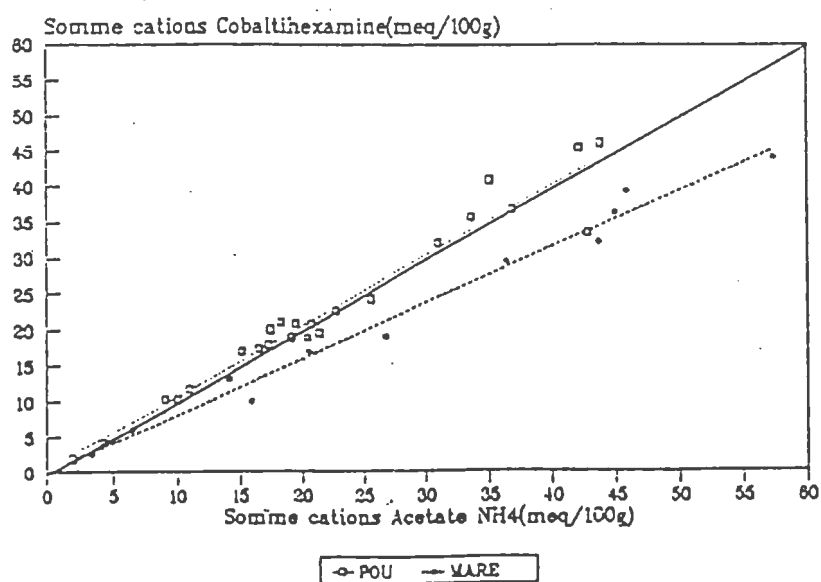
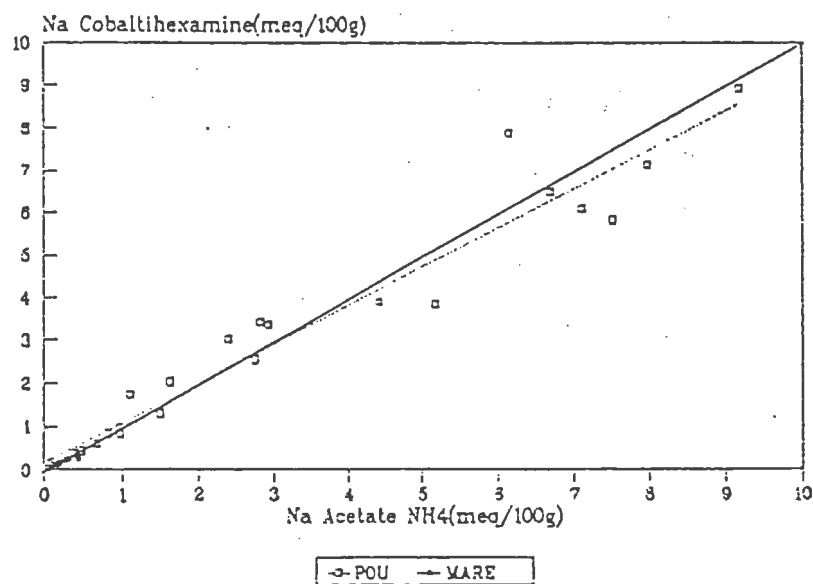
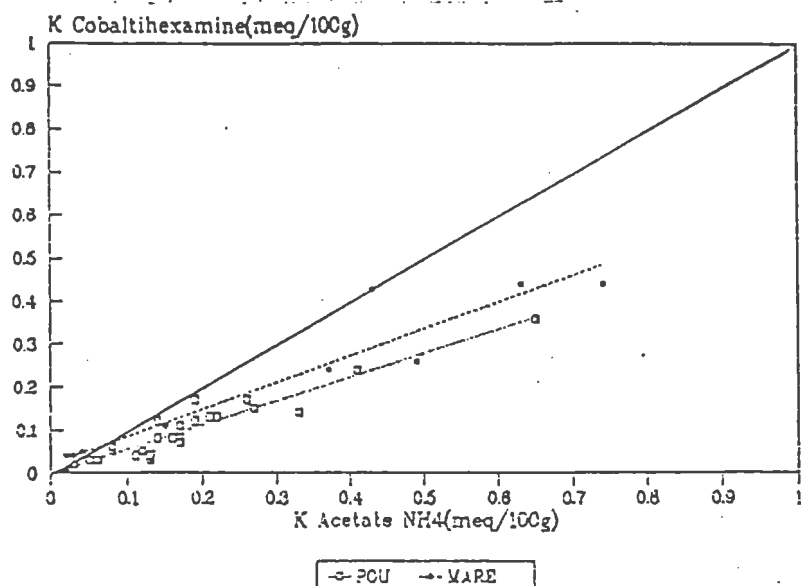
- CEC

Pou	$\text{CEC (Co)} = 0.996 \text{ CEC (Ac)} - 0.755$	$r^2 = 0.92$	$s = 3.61$	$n = 25$
Mare	$\text{CEC (Co)} = 1.080 \text{ CEC (Ac)} - 1.160$	$r^2 = 0.96$	$s = 3.32$	$n = 12$
Ensemble	$\text{CEC (Co)} = 1.020 \text{ CEC (Ac)} - 0.914$	$r^2 = 0.93$	$s = 3.50$	$n = 37$

# Etude du complexe absorbant Comparaison methode Acetate $\text{NH}_4$ – Cobaltihexammine



# Etude du complexe absorbant Comparaison methode Acetate NH<sub>4</sub>-Cobaltihexammine



**BIBLIOGRAPHIE**

- OLIVER R., 1985 - Etude comparative de deux méthodes d'extraction et de dosages des bases et de la capacité d'échange sur les sols du Sénégal.  
Agr. Trop., 39 (1) : 14 - 21.
- FALLAVIER P., BABRE D., BREYSSE M., 1985 - Détermination de la capacité d'échange cationique des sols tropicaux acides.  
Agr. Trop., 40 (4) : 298 -307.